

Treball de Fi de Grau

Grau d'Enginyeria en Tecnologies Industrials

**DISSENY I DESENVOLUPAMENT DEL CONTROL
AUTOMÀTIC PELS PARÀMETRES AMBIENTALS A
L'INTERIOR D'UNA CAMBRA
DE RADÓ**

MEMÒRIA

Autor: Gerard Rollón Herraiz
Director: Claudia Grossi, Vicenç Puig
Convocatòria: 05 / 2019



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

Aquest document conté la memòria del projecte de final de grau 'Disseny i desenvolupament del control automàtic pels paràmetres ambientals a l'interior d'una cambra de radó' i on es presenten els seus objectius, la metodologia i els resultats del projecte obtinguts. És un projecte per la facultat ETSEIB de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) i amb col·laboració entre dos departaments interns, el departament de Física i el d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial i amb col·laboració de l'Institut de Tècniques Energètiques de Catalunya (INTE). El treball ha sigut possible gràcies al Consell Nacional de Seguretat per mitjà de la beca Càtedra ARGOS entregada a aquest projecte.

A l'Institut de Tècniques Energètiques de Catalunya es fan estudis, entre d'altres, sobre la concentració de radó en interior i exterior. A més es calibren equips de mesura a partir de la cambra de radó amb la que treballen. Per tal de realitzar aquests estudis i treballs es necessiten unes condicions atmosfèriques controlades dintre de la cambra de radó per consignes de temperatura i humitat. De lo contrari els resultats no serien fiables ni acurats.

La cambra és un recinte hermètic de 20 m³ que compta amb equips de mesura i sistemes automàtics de control que permeten reproduir atmosferes amb diferents concentracions de radó i de les condicions climàtiques.

El present projecte sorgeix de la necessitat de renovació del sistema que controla els paràmetres atmosfèrics de la cambra degut a la necessitat d'utilitzar una tecnologia més ràpida i amb menys components durs.

El sistema previ controlava i visualitzava l'acció dels dispositius de la cambra a partir d'uns sensors, un ordinador amb LabView, una placa de National Instrument i el corresponent circuit electrònic que ho connectava als dispositius de l'interior de la cambra. Al ser una tecnologia poc dinàmica es vol provar d'utilitzar l'entorn d'Arduino intentant mantenir les mateixes funcions, proporcionant-ne de noves i millorant la funcionalitat de tot el sistema.

En el document primerament es donarà un context sobre el projecte i el seus objectius. Es comentaran les especificacions que han donat els usuaris que utilitzaran el sistema de control, com s'han intentat implementar i el motiu del perquè s'ha realitzat d'una forma o altra. No s'ha entrat en explicacions gaire tècniques en el sentit dels llenguatges de programació, només en casos estrictament necessaris per tal d'intentar donar una visió entenedora i fàcil de llegir pel lector. El codi íntegre del programa i de les pàgines WEB es troba en l'Annex.

Sumari

SUMARI	4
1. INTRODUCCIÓ	6
1.1. Objectius del projecte	7
1.2. Motivació.....	7
1.3. Requeriments previs.....	7
2. METODOLOGIA	9
2.1. Material	9
2.1.1. Arduino	9
2.2. Disseny del circuit.....	12
3. DISSENY SOFTWARE	15
3.1. Tractament de dades.....	15
3.1.1. Lectura	17
3.1.2. Control + Lectura	17
3.2. Adquisició i tractament de comandes	18
3.2.1. Tractament de comanda.....	20
3.3. Pàgina WEB	21
3.3.1. Intercanvi d'informació	24
4. VALIDACIÓ / PROVES	25
4.1. Proves del cicle de control.....	26
4.2. Proves de les comandes	31
4.3. Prova de l'arxiu inicialització	32
4.4. Prova del registre.....	33
4.5. Prova del control de canvis	33
4.6. Proves de la pàgina web	33
5. PRESSUPOST DEL PROJECTE	35
CONCLUSIONS I TREBALL FUTUR	37
AGRAÏMENTS	40
BIBLIOGRAFIA	41
Referències bibliogràfiques	41
Bibliografia complementària	42

1. INTRODUCCIÓ

L'Institut de Tècniques energètiques és un espai de treball on es realitzen investigacions bàsiques i aplicades, es presten serveis i es participa en la formació de persones enfocades als àmbits relacionats amb radiacions ionitzants, producció d'hidrogen, desenvolupament de materials per aplicacions energètiques, física de neutrons i acceleradors de partícules.

Dintre de l'INTE es troba el laboratori d'estudis de radó (LER). Al LER hi ha una cambra de radó (Vargas et al., 2004 [1]; Vargas et al., 2005 [2]) on es duen a terme les activitats de calibratge i comparació d'equips de mesurament de concentracions de radó, així com l'estudi de la resposta dels detectors de radó en diferents condicions ambientals (Grossi et al., 2012 [3]). El sistema de control atmosfèric de la cambra de radó del LER funcionava a partir de la tecnologia Lab View. Llegia les senyals d'entrada dels sensors interiors per tal de controlar les senyals de sortida, humidificador, deshumidificador, ventilador, resistència i aire condicionat, que permetien alterar les condicions atmosfèriques.

La funció del LER es rellevant degut a la importància del radó per la salut de les persones ja que la seva concentració és la segona causa més important de càncer de pulmó (OMS, 2016 [4]). El radó (^{222}Rn) és un gas noble que no es pot detectar ni per olor, color o sabor. El podem trobar de forma natural produït de la desintegració radioactiva natural de l'urani que es troba en els sols i roques. També pot ser present a l'aigua.

Els equips de mesura que es calibren a la cambra serveixen, per exemple, com a mesura de seguretat al informar-nos quan la concentració de radó és perillosa o passa un límit determinat. Per tal de saber que ens donen una lectura fiable, el calibratge dins la cambra de radó es du a terme exposant els instruments a atmosferes diferents i conegudes (Moreno et al., 2013[5]).

L'INTE va proposar el projecte per tal de que un estudiant de l'ETSEIB es presenti per la seva realització, buscant que apliqui i amplii els seu coneixements sobre sistemes automàtics i aprengui a programar amb nous llenguatges informàtics com el C++ i HTML necessaris per la realització del programa basat amb la plataforma ARDUINO.

1.1. Objectius del projecte

La finalitat del projecte és renovar el sistema de control automàtic que controla els paràmetres ambientals temperatura i humitat de dins la cambra de radó del LER segons les especificacions donades pels investigadors del laboratori. Per tal d'aconseguir-ho s'ha decidit passar a la tecnologia de codi obert d'Arduino que ens permetrà, en primer lloc que el sistema sigui autònom, ja que el sistema anterior requeria d'una acció manual en tot moment quan es volia modificar algun dels estats, ara l'objectiu és que el control sigui constant. En segon lloc també interessa l'opció de que sigui un sistema remot; per via d'una pàgina web s'hauria de poder accedir al sistema per tal de visualitzar el que està succeint, controlar les consignes i paràmetres i obtenir les dades necessàries. Un altre punt que s'ha tingut en compte ha sigut poder reduir l'espai ocupat pels components implicats per tal d'aprofitar-lo millor en el laboratori.

1.2. Motivació

Els principals motius personals per l'elecció d'aquest projecte en concret van ser d'aprenentatge. Per una banda, aprendre els llenguatges de programació C++ i HTML necessaris per la realització del projecte i que no s'assoleixen durant el grau eren un motivació important. Per altra banda buscava un altre punt de vista al obtingut a la universitat on es treballa en solitari i per un objectiu acadèmic i propi. Aquest nou punt de vista era interessant que fos des de dintre una empresa en un projecte pràctic amb uns objectius grupals d'empresa.

Enfrontar-se a aquest projecte era tot un repte perquè implicava sortir fora dels àmbits amb els quals a la universitat et desenvolupes, en els que tens uns coneixements més amplis i per tant en els que et trobes més còmode. El nou projecte implicava entrar en uns altres àmbits que pràcticament desconeixia. Tot i així, el repte era motivador per l'interès de conèixer una part de la programació més pràctica i d'utilitat, a partir d'un projecte que s'havia de desenvolupar des del principi. Realitzar totes les fases des la necessitat de renovació fins la validació, passant pel disseny o el desenvolupament era perfecte per començar.

1.3. Requeriments previs

Per tal de realitzar el projecte proposat els requeriments principals eren coneixements bàsics de control automàtic i sistemes elèctrics per tal de dissenyar i implementar l'esquema del sistema i uns coneixements informàtics bàsics de programació per tal de poder aprendre els

llenguatges C++ i HTML necessaris per crear el programa.

Al començar el disseny des de l'INTE es van comentar els aspectes més rellevants del funcionament de la cambra i com es comporta el radó. El més important pel l'elaboració del projecte era saber com està muntat en aquell moment el sistema, quines connexions tenien amb els dispositius que es volien mantenir i les funcions que duia a terme l'equip a substituir.

Tenim com el Lab View controla totes els dispositius que necessitem per alterar els paràmetres de l'atmosfera, és d'on s'envien les senyals al ventilador, l'aire condicionat, la resistència, l'humidificador i el deshumidificador i qui rep les senyals de temperatura i humitat. La feina a fer al dissenyar el nou sistema, per substituir el Lab View per la placa Arduino, es resumeix en adaptar les senyals que arriben dels sensors per tal de que la placa les pugui llegir correctament i dissenyar un circuit general que permeti tenir els circuits interns de cada dispositiu oberts o tancats a partir d'un senyal de la placa. Amb les mesures de seguretat adients.

2. METODOLOGIA

2.1. Material

El material necessari pel muntatge del circuit capaç de controlar els paràmetres ambientals és el següent:

- 2 resistències de 250 Ohms.
- 5 resistències de 1000 Ohms (1K).
- 5 relés 30.22.7.005.0010.
- 5 transistors BC33.
- 5 díodes 1N4148
- Arduino MEGA 2650 Rev3.
- Arduino Shield Ethernet.
- Targeta de memòria SD.
- Proto shield

2.1.1. Arduino

La major part del projecte s'ha desenvolupat via Arduino [6]. Arduino és una empresa amb plataforma de hardware lliure que fabrica plaques basades en un microcontrolador que estan pensades per projectes multidisciplinaris. Un microcontrolador és un sistema digital de processament que com a mínim inclou un micro-processador, unitats d'entrada i de sortida i una memòria de dades. Està format per una gran quantitat de transistors que funcionen com a interruptors.

L'empresa sorgeix l'any 2005 per uns estudiants de l'Institut de disseny Interactiu IVREA, Itàlia, que utilitzaven un microcontrolador amb llenguatge de programació bàsic però amb un cost massa elevat com per ser accessible. Poder fer accessible una plataforma de desenvolupament va ser el motiu de la seva creació. L'estudiant Hernando Barragán innova

una plataforma de desenvolupament a partir de les quals els professors, Massimo, David Cuartilles i Gianluca Martino es van basar per crear una plataforma de hardware i software lliure, més pertita i econòmica a la que van anomenar Arduino.

Arduino a més de Hardware lliure disposa de un entorn de desenvolupament (IDE, figura 2.1) i un llenguatge de programació propi basat en C++. La IDE és compatible en varis sistemes operatius, com Windows, Linux, o Mac.

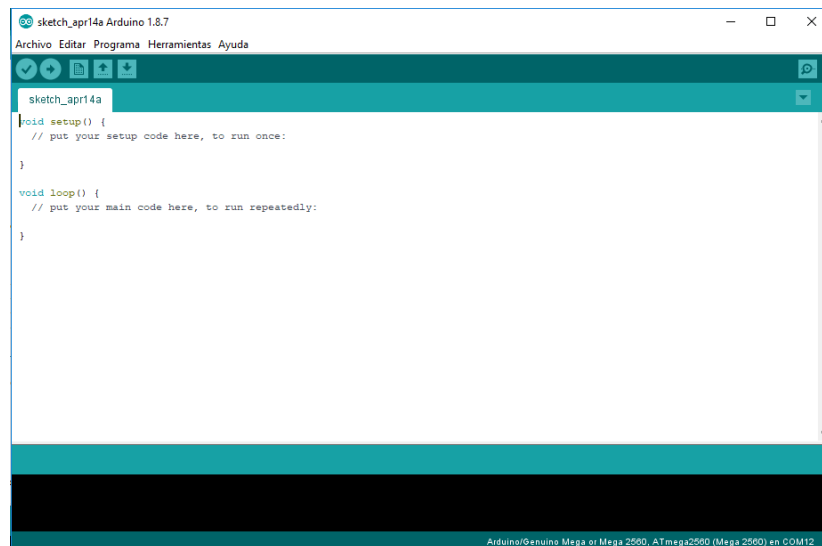


Figura 2.1. IDE d'Arduino

Com s'ha comentat un dels motius principals per la realització del projecte per part de l'estudiant va ser la introducció a la programació, Arduino al utilitzar el llenguatge de programació C++ permet aquest apropament degut a que és la plataforma amb més informació i una comunitat major darrera seu. És una gran avantatge a l'hora d'aprendre des de zero, quan busques exemples o resolucions d'algun dubte. Arduino, a més, es programa directament des del seu IDE amb un cable USB sense necessitats de programes específics.

La forma de treballar de les plaques d'Arduino es basa en la introducció d'un codi prèviament creat que el seu microprocessador utilitza per realitzar les tasques assignades. Per poder visualitzar la informació conté un port de comunicació Serial-USB que permet enviar i rebre missatges digitals amb una computadora. Depenent del tipus de placa es poden portar a terme diferents funcions, les més bàsiques contenen alguns canals electrònics d'entrada i de sortida que poden ser digitals o analògics per rebre i produir senyals. Altres funcionalitats, depenent de la placa, poden ser connexions per port Serial, per port Ethernet, via Wifi o amb la possibilitat de connexió amb una targeta micro SD, entre d'altres.

Per aquest projecte s'ha acabat utilitzant una placa Arduino MEGA 2560 Rev3, Figura 2.2 i una Arduino Shield Ethernet, Figura 2.3. La MEGA 2560 Rev3 és una de les plaques més potents i amb una gran memòria flash que necessitem. Tot i així no té connexió ni per port Ethernet ni amb una targeta micro SD. És per això que també requerim de la Shield Ethernet. És una anomenada armadura que serveix per incorporar funcions a plaques que no les tenen. En aquest cas incorporem connexions entre ports Ethernet i la targeta de memòria SD que són indispensables pel projecte.

Les característiques principals de la nostra placa són:

- Microcontrolador: ATmega2560
- Voltatge operatiu: 5V
- Voltatge d'entrada: 7-12V.
- Pins digitals d'entrada/sortida: 54
- Pins analògics d'entrada: 16
- Memòria flash: 256k



Figura 2.2 Arduino MEGA 2560 Rev3

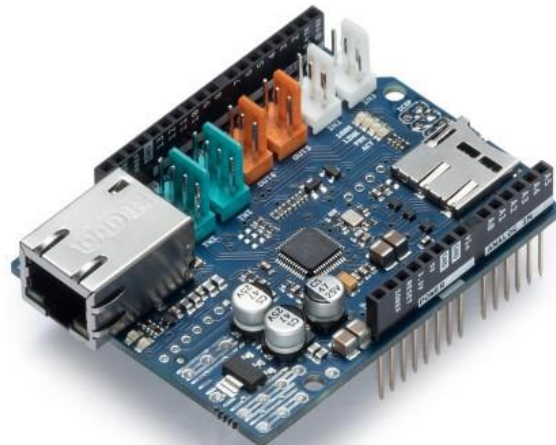


Figura 2.3. Arduino Shield Ethernet

2.2. Disseny del circuit

L'objectiu del primer pas del projecte és dissenyar un sistema electrònic que controli els diferents dispositius que tenim dins la cambra per tal de canviar les condicions atmosfèriques, si es requereix. El sistema haurà de decidir si es necessita l'activació d'algun dels dispositius a partir de dos sensors que es troben dins la cambra. Els sensors donen les lectures de temperatura i humitat en rangs de 4 a 20 mA.

Per tal de tenir una lectura en un voltatge adient s'introdueix una resistència de 250 Ohms. S'ha triat aquest valor perquè així tenim lectures de voltatge compreses entre 1 i 5 Volts ideals per treballar amb un Arduino (llegeix valors de 0 a 5 Volts). Aquest dispositiu, un cop tingui el codi pujat, serà capaç d'actuar en funció de les lectures que li arribin i activar o desactivar els dispositius que volem controlar.

Els dispositius que s'han de controlar són:

- Una resistència que ens serveix per pujar la temperatura.
- Un aire condicionat per tal de baixar la temperatura.
- Un humidificador que ens permet augmentar la humitat.
- Un deshumidificador que pot reduir la humitat.

- Ventilador.

Hi ha hagut una part del circuit elèctric que no s'ha hagut de reemplaçar, és la part que connecta els dispositius de dins la cambra amb les seves respectives fonts de tensió.

A més s'ha mantingut una lògica de seguretat que no permet activar ni la resistència ni l'aire condicionat si el ventilador no ho està.

La Figura 2.4 ens mostra l'esquema del circuit dissenyat a partir d'un controlador ATmega2560 integrat a la placa ARDUINO MEGA 2560 Rev3. Es necessita d'una Shield Ethernet per tal de incorporar les funcions de comunicació a partir del port Ethernet i una targeta de memòria SD.

L'esquema del circuit és el següent:

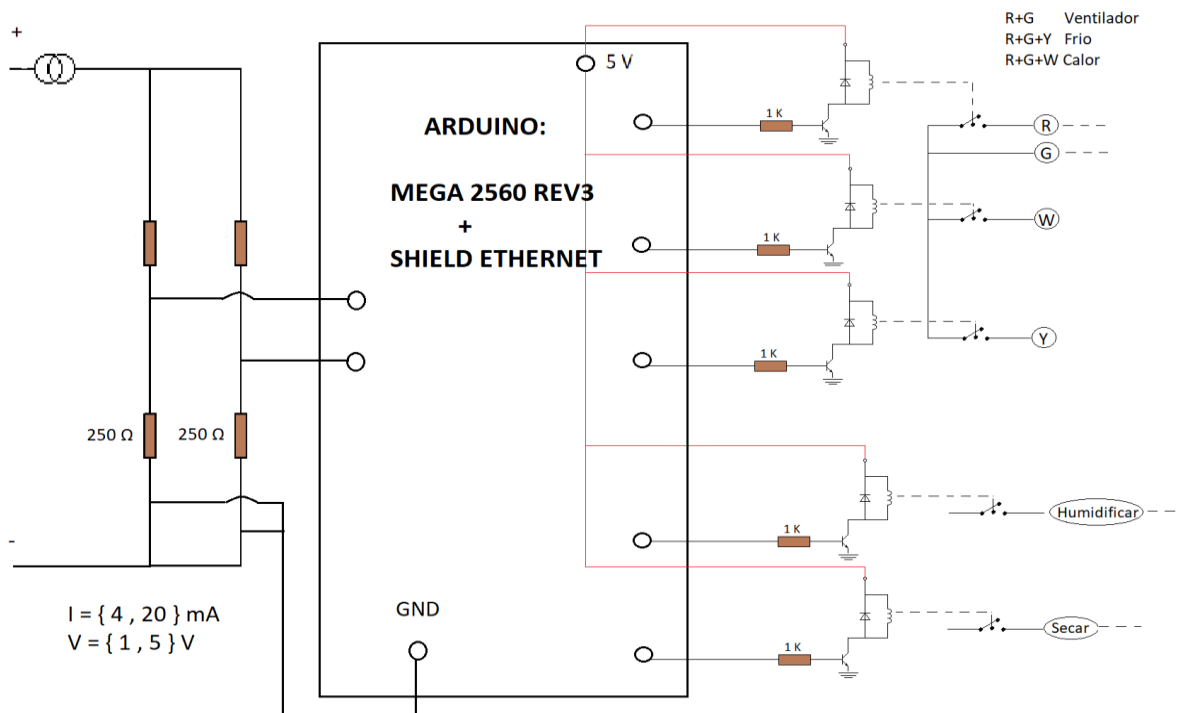


Figura 2.4. Esquema del circuit electrònic

A la banda de les sortides, el circuit està dissenyat per tal de que quan han d'estar activades les sortides la placa genera un senyal digital que permet commutar els corresponents relés mitjançant un transistor. Escollim uns transistors BC33, són NPN amb un corrent i voltatge màxim de 500mA i 45 V. Quan està activada la sortida als transistors els hi arriba la senyal

digital proporcionada per la placa i la senyal, seguidament, passa cap a un relé connectat en paral·lel amb un díode que l'introduïm per seguretat. Els díodes triats són els 1N4148 ja que actuen a partir d'una senyal petita i en gran rapidesa.

El díode i el relé estan connectats a la font de tensió de la placa. Com que aquesta és de 5 Volts hem escollit els relés 30.22.7.005.0010 que ens serveixen per tancar els respectius circuits que han de controlar quan els hi arriba la senyal.

3. DISSENY SOFTWARE

Per el disseny del software es tenien unes especificacions a complir tan per necessitats del propi usuari i com per les necessitats dels elements que conté el sistema. Pel que fa les necessitats de l'usuari les especificacions inicials van ser:

- **Lectura:** Llegir les senyals dels sensors que tenim a l'interior de la cambra, tractar-les per tal de saber quina temperatura i humitat tenim i mostrar-les a l'usuari en pantalla.
- **Control:** Dissenyar un cicle de control autònom que treballi per tal d'aconseguir les consignes introduïdes per l'usuari tan de temperatura com d'humitat.
- **Adquisició i tractament de comandes:** Implementar un sistema d'adquisició de comandes per tractar-les i que ens permeti tenir un registre del canvis. Proporcionar les dades a l'usuari en una pàgina web.
- **Pàgina WEB:** Dissenyar una pàgina web des de la qual es poguï treballar remotament amb la cambra des de la qual es puguin canviar consignes i paràmetres del sistema.

Evidentment, volem implementar els protocols de seguretat necessaris en tots els mòduls.

Les especificacions requerides pels elements del sistema eren respectar uns temps de pausa mínim pels dispositius que utilitzessin un compressor (aire condicionat i deshumidificador).

Per tal d'intentar explicar com s'ha elaborat el codi del programa el dividirem en tres parts: **tractament de dades, el tractament de comandes i la pàgina web.**

3.1. Tractament de dades

De forma visual i molt esquematitzada podem veure, a partir d'un diagrama, els sub-blocs que conté la part del codi destinat al tractament de dades explicats seguidament:

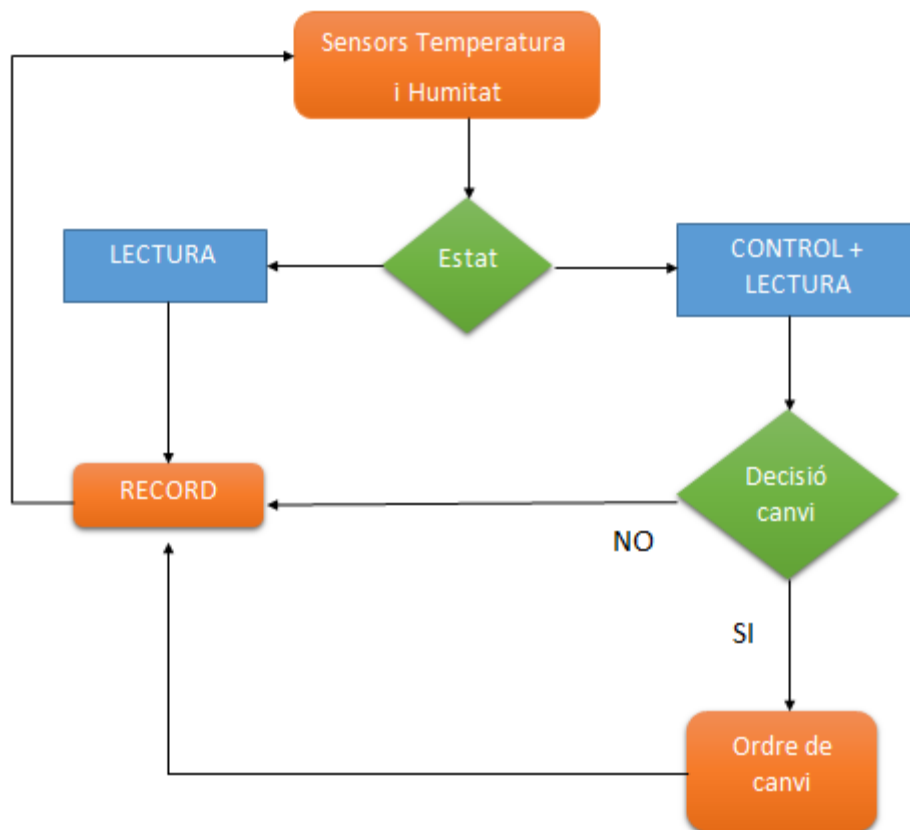


Figura 3.1. Diagrama de decisió del tractament de dades

Des de que la placa Arduino rep les senyals de voltatge del sensor fins que les guarda a l'arxiu de registre s'ha de tractar aquesta senyal per tenir els valors representatius del paràmetre corresponent, valorar si es requereix l'aplicació d'algun dels dispositius de la cambra per tal de modificar aquest paràmetre i donar les ordres de tancament o obertura de les sortides pertinents.

La primera funció que ha de realitzar el cicle de control és aconseguir una lectura fiable dels sensors de la cambra. La placa llegeix les senyals dels sensors per les entrades analògiques i interpreta els voltatges entrants per tal de tenir valors de temperatura i humitat (entre 0 i 100) segons la conversió de l'equació 3.1:

$$\text{Lectura} = (\text{senyal del sensor} \times 100) / 1023 \quad (\text{Eq 3.1})$$

Ho fem perquè l'Arduino pot agafar, a les seves entrades analògiques, 1024 valors (de 0 a 1023). És a dir, divideix el rang de valors que dona el sensor entre 1024. En aquest cas l'interval és entre 1 i 5 Volts per lo que si ens trobem a 50 °C el sensor donarà una senyal de 2,5 Volts que s'interpretarà com a, més o menys, 512 i quan ho tractem tindrem una lectura de $(512 \times 100) / 1023 = 50.05$ °C. Tan per temperatura com per humitat tenim el mateix

funcionament.

El cicle de control pot tindre dos estats segons les preferències de l'usuari en cada moment:

3.1.1. Lectura

El primer estat és el de només Lectura, on l'usuari ha d'introduir un interval de temps que serà l'espai de temps entre registres de dades. La funció del programa en aquest estat és simplement llegir els sensors, tenir un registre de les dades i guardar-lo en un arxiu de la targeta de memòria SD.

Les dades es guarden en un arxiu de la targeta SD que contindrà:

- L'instant en que ens trobem.
- Les consignes de temperatura i humitat.

El camí que es segueix en aquest estat de lectura és el de la Figura 3.2.



Figura 3.2. Diagrama del cicle de lectura

3.1.2. Control + Lectura

El segon estat és el de Lectura + Control que s'ha creat per tal d'intentar complir les consignes que en aquell moment tingui el sistema. Per una banda tindrem la consigna temperatura i per l'altra la d'humitat. Cadascuna també conté consignes d'histèresis positiva i negativa amb les quals l'usuari ha de poder treballar i que permetin al sistema un cert marge de control.

Un cop interpretada la lectura, si partim del sistema en pausa i el posem en marxa amb les consignes corresponents, el cicle de control donarà senyal a les sortides quan estiguem per sobre de la consigna principal + histèresis positiva o si ens trobem per sota de la consigna principal – histèresis negativa. Per exemple:

Consigna de temperatura = 30 °C

Histèresis positiva = 10 °C

Histèresis negativa = 5 °C

El cicle de control farà activar la sortida de la resistència quan detecti una temperatura inferior a $30 - 5 = 25$ °C i activaria el compressor de l'aire condicionat si la temperatura fos més alta de $30 + 10 = 40$ °C. Però a l'hora de deixar de donar la senyal en comptes de tenir com a valor límit la consigna +- la corresponent histèresis té simplement la consigna. Si tenim la resistència activada ho continuarà estant fins que arribem al valor de consigna, 30 °C.

El cicle de control també procura que els dispositius amb compressor passin un temps de pausa mínim abans de que puguin posar-se en marxa un altre cop per la seguretat de l'equip. És a dir, si l'aire condicionat porta massa poc temps en pausa no podrem activar-lo encara que la temperatura sigui major de 40 °C (en el nostre exemple). Passaria el mateix amb el deshumidificador.

En codi de l'estat Lectura + Control també té una part on es guarda un registre de les dades cada cert temps que l'usuari pot escollir. Les dades es guarden en un arxiu de la targeta SD que contindrà:

- L'instant en que ens trobem.
- Les consignes de temperatura i humitat.
- Els estats de les sortides.



Figura 3.3. Diagrama del cicle de control + lectura

3.2. Adquisició i tractament de comandes

Els diferents camins que pot seguir una comanda dins el codi els podem veure en el següent diagrama (Figura 3.4) de forma esquematitzada i posteriorment explicats.

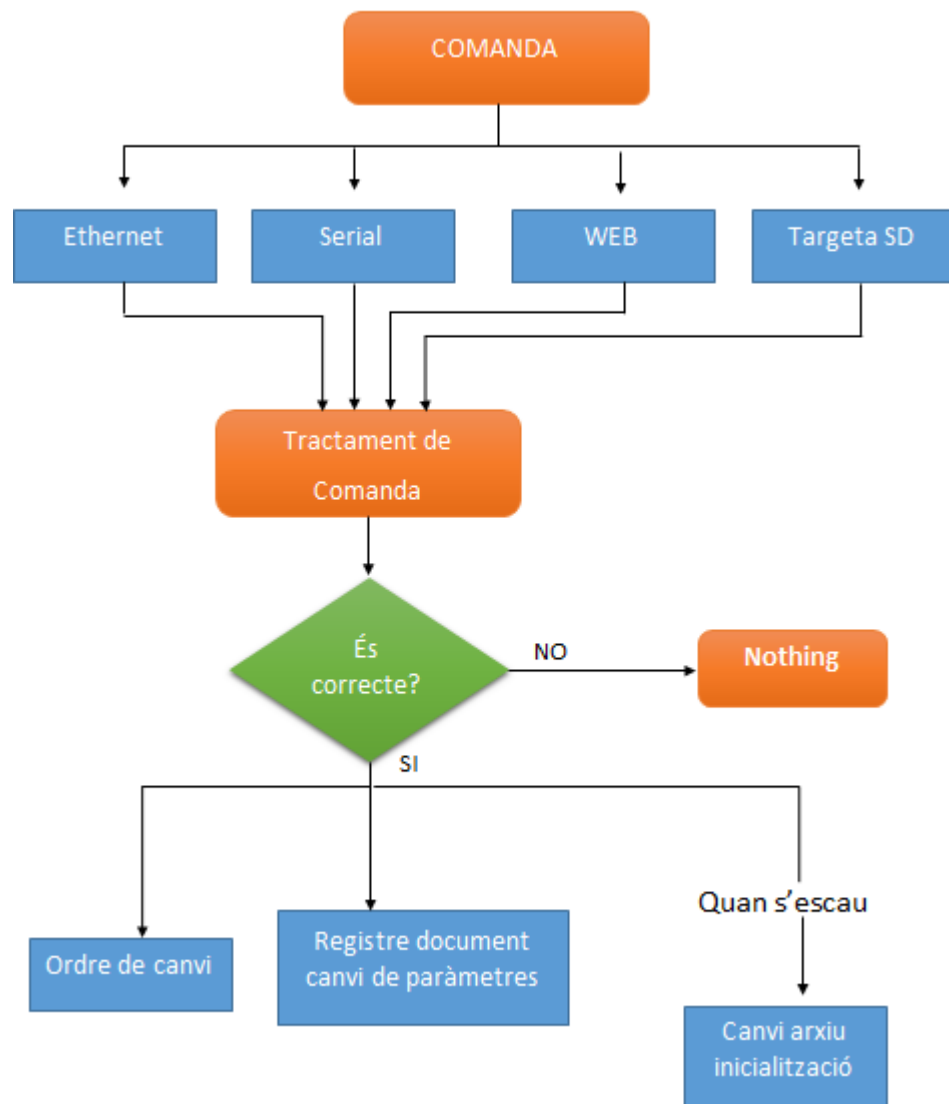


Figura 3.4. Diagrama de decisió del tractament de comandes

Tot i que l'objectiu principal fos crear una rutina que a través d'una pàgina web permetés a l'usuari enviar comandes per tal de canviar el paràmetres necessaris, també s'ha introduït que es puguin enviar des del port Serial o per Telnet i que pugui interpretar ordres procedents de la targeta de memòria SD. El principal motiu de la introducció d'aquestes connexions amb el Serial i Telnet era per tal de comprendre el funcionament del tractament de comandes ja que començar directament per la rutina de pàgina web era un pas massa gran. Aquesta pauta ha sigut recomanada pel personal expert de l'INTE en Arduino. El primer que es va fer va ser introduir l'opció del Serial que era el més fàcil i seguidament la del Telnet que és força semblant a com es tracta per pàgina web.

3.2.1. Tractament de comanda

Les comandes al passar sempre pel mateix mòdul de tractament i al ser rebudes des de diferents entorns, cal que siguin modificades segons des d'on arribin perquè totes tinguin el mateix format, ja que cada connexió l'envia d'una forma amb una part predeterminada. Un cop tractada la informació i presa decisió de canvi o no, també es passa a modificar els arxius de registre i d'inicialització segons el tractament que s'hagi fet de la comanda.

S'ha implementat de tal forma que el programa reconeix una comanda quan li arriba l'ordre entre delimitadors determinats que varien segons d'on procedeix la comanda ja que, per exemple, des de la web ja venen predeterminats. Al final es té la informació de la mateixa forma i es tracta igual indiferentment d'on provingui. Primer s'interpreta una lletra que ens indica quin paràmetre es vol canviar i després s'agafa el valor pel qual es vol modificar. Per exemple per modificar el valor de la consigna temperatura el codi ho reconeix si li arriba la lletra A seguida d'un valor corresponent de temperatura consigna.

Cada cop que es vol canviar algun paràmetre el sistema mira si la comanda és correcta (té sentit respecte els valors que pot tenir el paràmetre que es vol modificar) i es pot portar a terme. Si es vol introduir un valor que no concorda amb el paràmetre el sistema no ho permetrà. En cas contrari es canviarà i es mantindrà un registre del canvi en un altre arxiu de la targeta on es tindran totes les modificacions anotades i en quin moment.

Per seguretat s'ha implementat que quan s'inicialitzi el programa s'agafin els valors dels paràmetres a partir d'un altre arxiu diferent de la targeta de memòria de la SD. Quan el programa du a terme una comanda també fa que es modifiqui aquest arxiu i es tinguin els últims valors amb els quals s'ha estat treballant. Així si en algun moment i per algun motiu es para de sobte es tindran guardats els paràmetres i es podrà començar la rutina amb els últims valors.

Quan tenim canvis dels paràmetres de l'arxiu d'inicialització s'ha d'implementar una funció que modifiqui aquest arxiu perquè volem tenir guardats el nous paràmetres per si cal inicialitzar-los de nou. Per tal de fer-ho el programa llegeix l'arxiu original, copia les parts que no s'han modificat, detecta la part que s'ha canviat i escriu el nou valor introduït.

Per tal de no quedar-nos en cap moment sense un arxiu amb la informació d'inicialització el que fa aquesta rutina és primer crear un nou arxiu, tal i com el volem acabat amb un nom diferent, però sense haver eliminat el previ. Posteriorment, com que ja tenim la informació guardada, podem eliminar el previ, crear-lo de nou amb el nom adient i eliminar el que hem utilitzat com a mesura de seguretat. S'ha escollit aquesta rutina per tal de que no hi hagi un moment concret on no hi ha creat cap arxiu amb la informació. En cas contrari hi hauria el

risc de que s'aturés la placa en aquell moment i es perdés.

3.3. Pàgina WEB

Per crear la pàgina web s'ha tingut en compte una sèrie de requisits inicials com que la pàgina només pogués ser utilitzada per usuaris determinats. Llavors ha sigut necessari crear una entrada amb registre, el programa ha de validar que l'usuari i la contrasenya són correctes per tal de deixar a l'usuari manipular el sistema de control de la cambra. S'ha creat de tal forma que si no has accedit amb el teu usuari i contrasenya o han passat més de 3 hores el servidor sempre et conduirà a la pàgina d'entrada sense deixar-te accedir a cap de les pàgines de la web. Un cop es va aprendre a tractar les comandes via WEB, fer un formulari per l'usuari i la contrasenya no era un problema complex, tot i així es va optar per utilitzar una plantilla de la web w3schools.com [7] ja que el disseny sí que requeria de més coneixements al incorporar una pàgina emergent característica de les pàgines d'inici. En aquest cas es va estudiar el codi per tal de saber com arribaven les comandes i poder adaptar que el mòdul pertinent del programa reconegués la comanda.

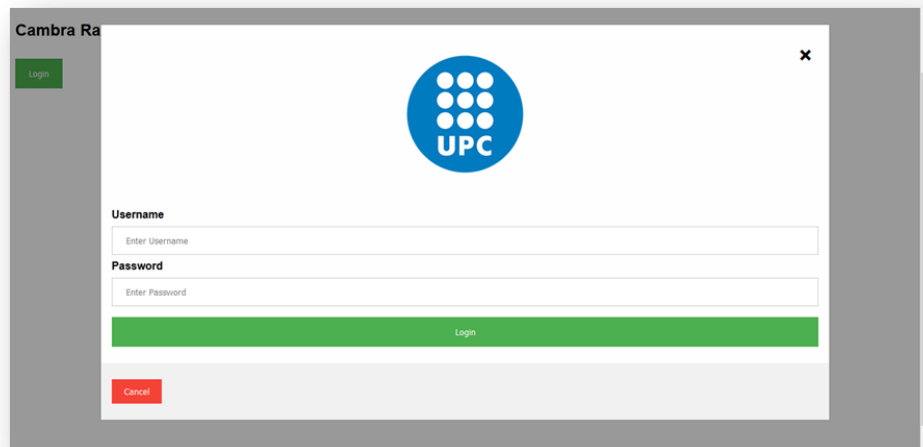


Figura 3.5. Pàgina web d'entrada

Un cop dins la pàgina s'estructura de la següent forma:

Tenim la taula principal que ens mostra les lectures dels paràmetres que estem rebent i les consignes que en aquell moment estan gravades. Segons si volem que el programa controlï l'atmosfera o si només volem visualitzar les consignes mentre s'actualitza el registre podem triar entre l'estat de Control o Lectura, respectivament, com s'ha explicat en anterioritat. Utilitzant l'iframe la pàgina es va actualitzant sense necessitat de canviar d'adreça.

A la pàgina d'entrada podem crear un arxiu de registre, diferent del que actualitza el programa per defecte, a partir del formulari de la part superior. Introduïm el nom que volem que tingui, el programa rebrà la petició i el crearà dins la targeta de memòria SD. A més, a l'hora d'enviar aquest formulari, automàticament el programa rebrà l'hora que la pàgina ha extret de la computadora de l'usuari i la farà servir per canviar el temps intern de la placa que s'utilitza pels registres de dades. Aquest temps que utilitzem tindrà en desfàs de unes mil·lèsimes de segon que no són prou rellevants com per tindre-les en compte.

The screenshot shows a web interface with a green header bar. Below it, there's a section titled "CREAR ARCHIVO" with a form to create an archive. The form has a label "Nombre del archivo:" and two input fields: one for the date (25/4/2019) and one for the time (19:17:11). Below these fields is a button labeled "Enviar".

Below the "CREAR ARCHIVO" section is another section titled "TERMINAR ARCHIVO" with a button labeled "Terminar y enviar".

Below the "TERMINAR ARCHIVO" section is a table with parameters. The table has two columns for "Lectura" (Reading) and "Consigna" (Setpoint). The rows are:

Lectura Temperatura [°C]=	85	Consigna [°C]=	70	Tsup [°C]=	5	Tinf [°C]=	5
Lectura Humedad [%]=	99	Consigna [%]=	75	Hsup [°C]=	5	Hinf [°C]=	5
Tiempo de pausa del compresor del aire acondicionado [s]=	7000	Tiempo de pausa del compresor del deshumidificador [s]=	7000				

Below the table are two buttons: "CONTROL" and "LECTURA".

At the bottom of the page, there's a small section titled "PARAMETROS INTERNOS".

Figura 3.6. Pàgina web principal

Un cop hem fet servir el formulari, a partir del iframe de dins de la mateixa, la pàgina web et permet escollir entre els dos estats possibles del programa, lectura (Lectura) o control + lectura (Control), mitjançant dos botons:

The screenshot shows a web interface with a green header bar. Below it, there's a section titled "CREAR ARCHIVO" with a form to create an archive. The form has a label "Nombre del archivo:" and two input fields: one for the date (25/4/2019) and one for the time (19:17:11). Below these fields is a button labeled "Enviar".

Below the "CREAR ARCHIVO" section is another section titled "TERMINAR ARCHIVO" with a button labeled "Terminar y enviar".

Below the "TERMINAR ARCHIVO" section is a table with parameters. The table has two columns for "Lectura" (Reading) and "Consigna" (Setpoint). The rows are:

Lectura Temperatura [°C]=	85	Consigna [°C]=	70	Tsup [°C]=	5	Tinf [°C]=	5
Lectura Humedad [%]=	99	Consigna [%]=	75	Hsup [°C]=	5	Hinf [°C]=	5
Tiempo de pausa del compresor del aire acondicionado [s]=	7000	Tiempo de pausa del compresor del deshumidificador [s]=	7000				

Below the table are two buttons: "CONTROL" and "LECTURA".

At the bottom of the page, there's a small section titled "PARAMETROS INTERNOS".

Figura 3.7. Iframe de decisió d'estat

Al escollir, el iframe canvia al formulari corresponent on podem introduir/modificar les consignes i/o segons l'estat en que ens trobem a l'hora que podem visualitzar el valor actual de cada un:

Temperatura:

Tsup:

Tinf:

Humedad:

Hsup:

Hinf:

Figura 3.8. Iframe en estat control

Si volem finalitzar l'arxiu que hem creat i tancar-lo ho haurem de fer a partir del botó de la pàgina principal "Terminar y enviar":

CREAR ARCHIVO

Nombre del archivo:

Lectura Temperatura [°C]=	55	Consigna [°C]=	45	Tsup [°C]=	5	Tinf [°C]=	5
Lectura Humedad [%]=	75	Consigna [%]=	75	Hsup [%]=	5	Hinf [%]=	5
Tiempo de pausa del compresor del aire acondicionado [s]=	5000	Tiempo de pausa del compresor del humidificador [s]=	5000				

Temperatura: T=25

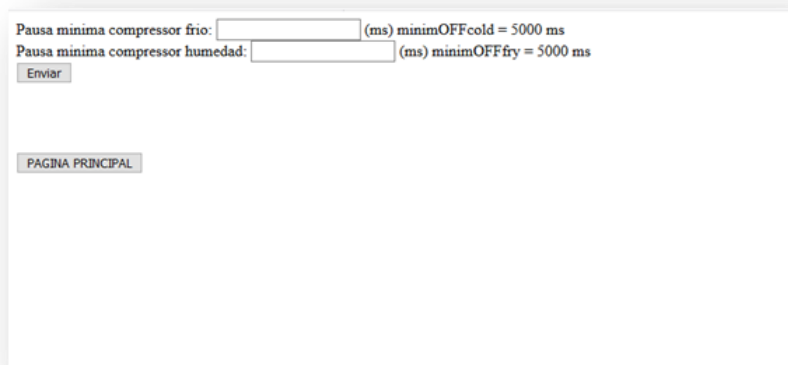
Humedad: Humedad consigna = 25

PARAMETROS INTERNOS

21.01.42 14/4/2019

Figura 3.9. Pàgina web principal, botó "Terminar y enviar"

A la mateixa pàgina principal trobem un botó "PARAMETROS INTERNOS" que si l'utilitzem ens portarà a la pàgina on podem canviar aquests paràmetres que no són estrictament necessari de modificar per la utilització de la cambra. En aquest moment tenim els temps de pausa que volem que tinguin els compressors abans de que puguin tornar a posar-se en marxa. Si es volgués, es podrien afegir altres paràmetres que intervenen en el desenvolupament del programa. Amb el botó "PAGINA PRINCIPAL" podem retornar a la pàgina principal:



Pausa minima compresor frio: (ms) minimOFFcold = 5000 ms
Pausa minima compresor humedad: (ms) minimOFFfry = 5000 ms

Figura 3.10. Pàgina web paràmetres interns

El codi de les pàgines web és bastant pesant en termes de memòria, per això es recorre a guardar-los cadascun, menys el de la pàgina principal, en un fitxer de la targeta de memòria SD i es criden des del programa quan es requereix.

3.3.1. Intercanvi d'informació

Per tal de protegir la informació que s'envia a través dels formularis de la web, quan volem verificar el nostre usuari o quan enviem comandes, hem escollit el mètode POST per aquest intercanvi d'informació entre l'usuari i el programa. Aquest mètode es diferencia amb el mètode GET en que la informació que enviem no es visible per l'usuari. També és més elaborat d'aprendre i d'implementar però s'ha pensat que és necessari pel programa.

Un cop arribada la comanda es tracta bastant semblant que les anterior que havíem programat (Serial, Telnet i SD). Els formularis d'HTML fan servir els seus propis delimitadors per separar noms i valors entregats entre si i entre diferents ordres que envien en el mateix moment. S'ha donat com a nom intern de les ordes a les lletres que hem fet servir anteriorment per identificar quina ordre volem donar al programa. Quan el programa identifica una ordre amb el seu valor corresponent envia la informació a la funció utilitzada per totes les altres comandes que arriben des d'un altre lloc.

Com a mesura de seguretat, si el programa rep una ordre a partir dels formularis on es requereix una xifra però l'usuari no ha omplert algun dels camps no es modificarà aquest paràmetre.

4. Validació / Proves

Durant tot el procés de creació del programa s'han anat fent proves per tal de validar el codi que s'estava elaborant. Es pot dir que les proves han sigut de dos tipus, les que requerien del hardware per les comprovacions i les que utilitzant només el software ja podíem validar.

Per tal d'integrar una simulació del hardware s'implementava un sistema que utilitza dos potenciòmetres que feien de sensors i 5 LED's que els fèiem servir com a sortides per saber si estaven activades (encesos) o desactivades (apagats).

Els potenciòmetres tenien com a font de tensió la pròpia de la placa que és de 5 V, perfecte perquè nosaltres tenim uns sensors que treballen amb una tensió màxima de 5V, quan anem variant la seva resistència simulem diferents lectures com les que ens podran arribar dels sensors. Els LED's els tenim connectats cadascun a dues potes de la placa, una d'elles sempre donant-li una sortida nul·la per tal de que fos com una connexió a terra i l'altre, quan és necessari, activar-la com si fos la senyal d'una de les sortides que volem controlar. Per tant, quan l'activem s'encén el LED i quan la tenim desactivada el LED es troba apagat.

Les primeres proves han sigut a partir d'una placa d'Arduino UNO esperant a l'arribada de la placa desitjada però pel que fa les proves de cicle de control no hi ha problema perquè les funcions necessàries les desenvolupen de la mateixa manera. Per les altres si que requerim de les funcions que té la placa MEGA i no té la placa UNO.

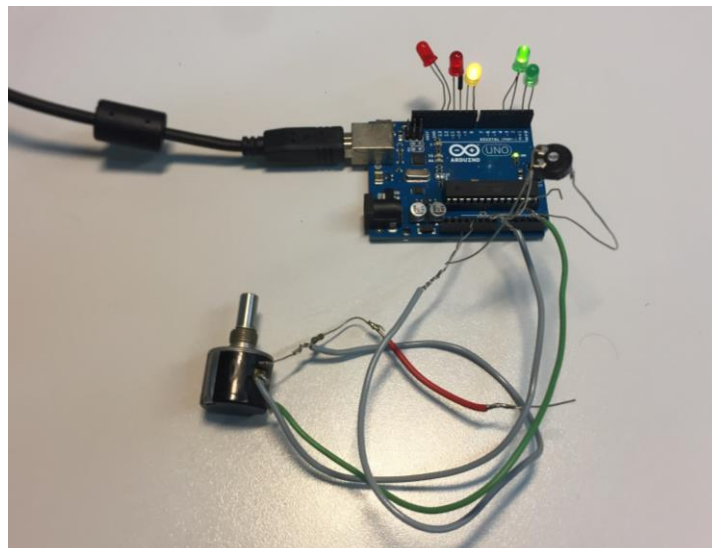


Figura 4.1. Hardware dissenyat per la realització de les proves

4.1. Proves del cicle de control

Com que la primera part del programa que es va fer va ser la que integra les funcions del cicle de control ens interessava saber que el programa fos capaç de llegir i interpretar les senyals dels sensors i que activés les sorties adients segons les lectures. Es donen unes consignes de temperatura i humitat fixes, igual amb les seves histèresis. Ajudant-nos del Serial de l'Arduino visualitzem les diferents senyals que està interpretant el programa segons com anem variant nosaltres, manualment, les tensions d'entrada amb els potenciòmetres.

Per tal de comprovar el codi implementat s'ha creat un protocol a partir d'una taula (Figura 4.2) on introduïrem els estats teòrics de les sortides segons l'instant de temps i que posteriorment farem servir per comparar amb els resultats obtinguts a l'assaig. Si els valors dels estats coincideixen amb els valors teòrics, predits segons les especificacions del programa que volíem comprovar, podrem validar la part del codi que estigues testejant. Segons l'instant de temps simulem diferents condicions de temperatura i humitat amb intervals de temps concrets (Figura 4.3) per comprovar diferents funcions del codi.

L'assaig està dissenyat per tal de que quan una sortida és HIGH, el LED connectat a aquella sortida estigui encès i apagat quan està en LOW. Així visualment comprovem si una sortida està tancada i dona senyal (activada) o oberta i no dona senyal (desactivada), respectivament.

Sortida	Instant				
	1	2	3	4	5
1	LOW/HIGH	LOW/HIGH	LOW/HIGH	LOW/HIGH	LOW/HIGH
2	LOW/HIGH	LOW/HIGH	LOW/HIGH	LOW/HIGH	LOW/HIGH
3	LOW/HIGH	LOW/HIGH	LOW/HIGH	LOW/HIGH	LOW/HIGH
4	LOW/HIGH	LOW/HIGH	LOW/HIGH	LOW/HIGH	LOW/HIGH
5	LOW/HIGH	LOW/HIGH	LOW/HIGH	LOW/HIGH	LOW/HIGH

Figura 4.2. Taula base d'estats de les sortides

	Temps [s]	Temperatura [°C]	Humitat [%]
Instant 1:	t_1	T_1	H_1
Instant 2:	t_2	T_2	H_2
Instant 3:	t_3	T_3	H_3
Instant 4:	t_4	T_4	H_4
Instant 5:	t_5	T_5	H_5

Figura 4.3. Taula base de les consignes segons l'instant

Sortida 1	Humidificador
Sortida 2	Deshumidificador
Sortida 3	Resistència
Sortida 4	Aire condicionat
Sortida 5	Ventilador

Figura 4.4. Elements simulats que controlats per cada sortida

Com que el codi del cicle de control està pensat de forma que els valors frontera, per temes d'estabilitat i inèrcies, no siguin els mateixos a l'hora de passar de LOW a HIGH o de HIGH a LOW ho comprovarem passant d'uns instants de temps on hi hagi d'haver canvi i d'altres on no s'hagin de realitzar. És a dir, una sortida es tenci quan sobrepassem el valor de la consigna introduït més, o menys, la seva histèresis corresponent i es torna a obrir quan obtenim una lectura que ja hagi arribat al valor consigna. Per comprovar la sortida encarregada de refredar la cambra podem simular un valor consigna de temperatura de 60°C i una histèresis (T_{sup}) de 5°C:

- El primer instant el posarem per sota del nostre valor consigna i pel qual la sortida haurà d'estar en LOW.
- El segon instant és interessant comprovar que estigui entre el valor consigna i

menys la histèresis (entre 60 i 65°C) per tal de comprovar que el control d'inèrcies per histèresis funciona.

- El tercer instant haurem simulat un valor major al de la frontera i amb el que la sortida estarà en HIGH.
- Per últim tornarem a 60°C i també per sota per comprovar que la sortida de finalitza en LOW.

Per la comprovació d'aquest exemple 1 podem utilitzar les taules següents (Figura 4.5 i Figura 4.6):

	Temps [s]	Temperatura [°C]
Instant 1:	0	55
Instant 2:	10	63
Instant 3:	20	75
Instant 4:	30	60
Instant 5:	40	50

Figura 4.5. Taula de consigna temperatura per l'exemple 1

	Instant				
Sortida	1	2	3	4	5
4	LOW	LOW	HIGH	LOW	LOW

Figura 4.6. Estats de la sortida 4 per l'exemple 1

Ara aquesta simulació s'ha d'adaptar per certificar que les dues sortides corresponents a un paràmetre, temperatura o humitat, funcionen adientment quan són controlades pel mateix codi. Així, un nou exemple dels utilitzats és el següent:

- ❖ Consigna temperatura = 50°C
- ❖ $T_{sup} = 5^{\circ}\text{C}$
- ❖ $T_{inf} = 5^{\circ}\text{C}$

Per la comprovació d'aquest exemple 2 podem utilitzar les taules següents (Figura 4.7 i Figura 4.8):

	Temps [s]	Temperatura [°C]
Instant 1:	0	51
Instant 2:	20	60
Instant 3:	40	47
Instant 4:	60	40
Instant 5:	80	51

Figura 4.7. Taula de consigna temperatura per l'exemple 2

	Instant				
Sortida	1	2	3	4	5
3	LOW	LOW	LOW	HIGH	LOW
4	LOW	HIGH	LOW	LOW	LOW

Figura 4.8. Estats de les sortides 3 i 4 per l'exemple 2

Després de comprovar que es compleixen les especificacions que volem amb els valors frontera de cada paràmetre, el cicle de control ha de complir els temps mínims d'apagat amb aquells aparells que tenen un compressor. A partir de la taula base (Figura 4.2 i 4.3) dissenyem un cicle d'instants per tal de comprovar aquests exemple 3 i 4.

○ **Aire condicionat, exemple 3:**

- ❖ Consigna temperatura = 30 °C
- ❖ Marges= +- 5 °C
- ❖ Temps mínim apagat= 15 segons

Volem comprovar que després d'activar-se la sortida que controla l'aire condicionat el programa no permeti activar-la un altre cop si no ha passat el temps que li hem introduït com

a valor al temps mínim apagat. A l'instant 4, sense un temps mínim de parat la sortida 2 tindria un estat de HIGH, com que el temps entre l'instant que s'ha desactivat i en el que es troba es inferior a 15 segons hem de validar que la sortida està en un estat de LOW.

	Temps [s]	Temperatura [°C]
Instant 1:	0	25
Instant 2:	10	35
Instant 3:	20	20
Instant 4:	30	40
Instant 5:	40	40

Figura 4.9. Taula de consigna temperatura per l'exemple 3

	Instant				
Sortida	1	2	3	4	5
2	LOW	HIGH	LOW	LOW	HIGH

Figura 4.10. Estats de la sortida 2 per l'exemple 3

- **Deshumidificador, exemple 4:**
 - ❖ Consigna humitat = 70%
 - ❖ Marge= +-5
 - ❖ tempsMinimOFF = 15 segons

Volem comprovar que després d'activar-se la sortida que controla el deshumidificador el programa no permeti activar-la un altre cop si no ha passat el temps que li hem introduït com a valor al temps mínim apagat. A l'instant 4, sense un temps mínim de parat la sortida 4

tindria un estat de HIGH, com que el temps entre l'instant que s'ha desactivat i en el que es troba es inferior a 15 segons hem de validar que la sortida està en un estat de LOW.

	Temps [s]	Humitat [%]
Instant 1:	0	70
Instant 2:	10	80
Instant 3:	20	60
Instant 4:	30	80
Instant 5:	40	80

Figura 4.11. Taula de consigna humitat per l'exemple 4

	Instant				
Sortida	1	2	3	4	5
4	LOW	HIGH	LOW	LOW	HIGH

Figura 4.12. Estats de la sortida 4 per l'exemple 4

Com a mesura de seguretat, un cop donat per correcte el cicle de control i a mesura que anem implementant noves funcions externes a aquest cicle, continuarem comprovant, amb el protocol de la taula complet (Figura 4.2 i 4.3) que res s'hagi alterat.

Amb aquestes proves es dona per correcte el mòdul del cicle de control, la funció de temps mínim de pausa i que la lògica de seguretat prèviament explicada estan ben implementades.

4.2. Proves de les comandes

Com ja s'ha explicat s'ha anat implementant el codi referent a les comandes de forma progressiva. Primerament amb les comandes arribades del Serial es mirava que el programa pogués aconseguir la informació que li volíem donar i que efectues el canvis que li demanaven. Ho comprovàvem a partir del mateix Serial on s'imprimeixen les variables o paràmetres que ens interessava visualitzar. Segons els problemes que podien anar sorgint ens interessava més veure unes variables o altres. Per cada paràmetre que es vol canviar

visualitzem, primer, el valor previ, després l'ordre que li arriba i per últim el nou valor que s'ha implementat. Quan coincideix el valor obtingut amb el desitjat, donem per provat que funciona aquesta part del codi.

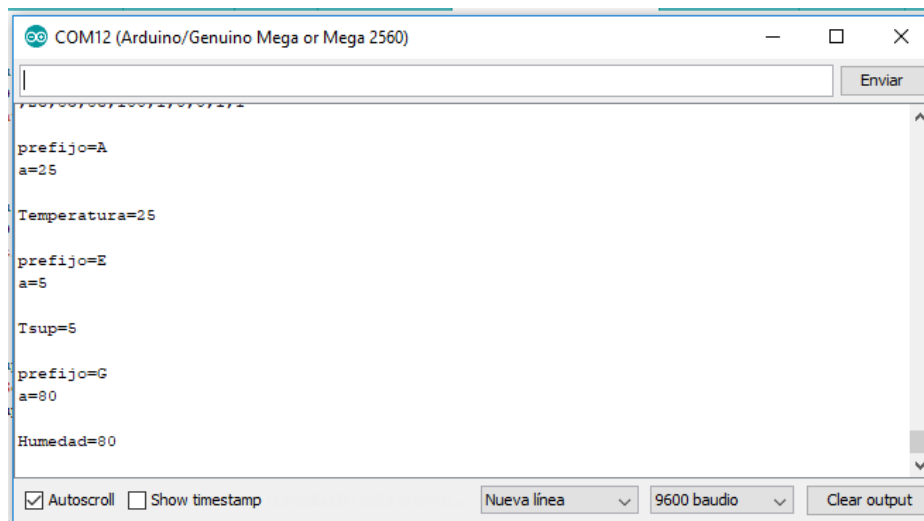


Figura 4.12. Comunicació Serial

A la Figura 4.12 podem veure tres comandes correctes diferents. La primera per la consigna de temperatura a un valor de 25°C (lletra A), la segona per la histèresi positiva de la mateixa consigna de temperatura que en aquest cas serà de 5 unitats (lletra E) i per últim el canvi de la consigna humitat a un valor de 80% (lletra G).

Un cop podíem llegir i efectuar comandes des del Serial el següent pas va ser implementar la mateixa rutina pel port Ethernet i les comandes provinents del Telnet. La metodologia que es va seguir per validar aquest pas va ser la mateixa.

Al comprovar que les comandes eren ben interpretades es va fer una segona prova unint totes les parts del codi, que fins el moment es tenia, per comprovar que el programa conjunt treballava correctament.

4.3. Prova de l'arxiu inicialització

S'ha de comprovar que el programa és capaç d'obrir i llegir un arxiu que tenim dins la targeta de memòria SD i pot inicialitzar els paràmetres amb els valors que hem introduït. La metodologia per tal de validar aquesta funció és pràcticament igual que la utilitzada anteriorment perquè un cop el programa identifica la informació de dins l'arxiu i la llegeix l'ha d'utilitzar com a comanda i aprofitar el ja comprovat codi que l'efectua.

Quan s'ha validat que funcionava correctament hem donat per comprovat que el programa podrà obrir i interpretar un arxiu que tinguem a la targeta de memòria.

L'arxiu d'inicialització també s'ha de modificar cada cop que hem tingut una comanda correcte que ha canviat algun dels paràmetres que l'arxiu conté. Com ja s'ha explicat prèviament en l'apartat 3.2.1, s'utilitza un protocol concret que ens permet tenir sempre un arxiu que contingui la informació d'inicialització. Per tant comprovem que no és possible parar la placa en cap moment en que no es tingui creat, com a mínim, la còpia de seguretat que ens permet no perdre res d'informació.

4.4. Prova del registre

El registre ha d'estar guardat en un altre arxiu de la targeta de memòria que en aquest cas s'ha d'obrir i modificar amb les noves dades que vulguem introduir. Hem de comprovar que el programa pot introduir les dades que nosaltres volem i de la forma triada a l'arxiu correcte. La validació s'ha fet quan hem obert l'arxiu de la targeta des d'un ordinador i hem visualitzat que conté tots els valors que volíem estructurats adequadament.

4.5. Prova del control de canvis

És la mateixa prova que pel registre però en aquest cas el programa havia d'obrir i modificar l'arxiu només quan hi havia hagut un canvi. És a dir, s'havia de comprovar que ho feia quan tocava ja que no tenia un cert interval de temps de cada quan fer-ho. També s'ha de mirar que modifica l'arxiu quan realment ha canviat un paràmetre i no quan rep una comanda ja que podria ser que aquesta comanda fos incorrecta i al final no es produís cap canvi.

Arribat aquest punt s'ha fet una tercera prova general per garantir el bon funcionament del programa conjuntant totes les funcions que hem implementat.

4.6. Proves de la pàgina web

La comprovació de la pàgina web ha sigut continua durant tot el procés de la seva creació degut a la complexitat que em representava aquesta part. Les proves es podien realitzar de forma bastant ràpida si teníem la placa connectada a l'ordinador pel port Ethernet, tot i que la connexió IP ha sigut un problema constant. Per tant, s'intentava comprovar el codi gairebé cada cop que es modificava. Generalment les comprovacions podien ser del disseny i

estructura en si de la pàgina web, lo qual simplement es carregava l'arxiu des de la targeta de memòria i es mirava que tot fos com es volia, o podien ser del tractament de comandes a partir de formularis que tenim dins les diferents pàgines. Aquestes últimes parts tenien la mateixa comprovació ja utilitzada anteriorment per l'arribada de comandes des del Serial, Telnet o targeta de memòria SD.

Per validar el codi utilitzat per l'estructura de la pàgina web simplement es compilava a la placa i amb la connexió Ethernet entre ella i l'ordinador s'obria, a partir d'un navegador, la pàgina web pertinent. Evidentment, si la pàgina tenia tot el que esperàvem i de la forma adequada es donava per correcte el codi.

5. Pressupost del projecte

Per la realització del projecte s'han tingut en compte, per una part, el cost estimat dels elements que componen el hardware i són necessaris per la seva construcció i implementació. Per altra banda s'estimen els costos associats al desenvolupament del projecte, incloent els honoraris del personal i el material utilitzat durant el temps que s'ha estat treballant en el projecte.

Els costos dels components són fixes. Els del material emprat pel desenvolupament està calculat en funció de la vida útil i la seva utilització. El càlcul utilitzat es reflexa en les equacions 5.1 i 5.2.

- $\text{Cost variable [€/hora]} = \text{Cost fix [€]} / \text{Temps de vida [hora]}$ **(Eq 5.1)**

- $\text{Cost projecte [€]} = \text{Cost variable [€/hora]} \times \text{Temps projecte [hora]}$ **(Eq 5.2)**

Els costos totals del projecte justificats per elements, material i personal es troben a les Figures 5.1 i 5.2.

Component	Quantitat	Preu unitari (€/u)	Preu (€)
Resistència 250 Ohms	2	0.742	1.484
Resistència 1000 Ohms	5	0.03	0.15
Díode 1N4148	5	0.104	0.52
LED	5	0.162	0.81
Proto shield	1	15.22	15.22
Relé 30.22.7.005.0010	5	7.98	39.9
Transistor BC33	5	0.141	0.705
Arduino MEGA 2650 Rev3	1	35.00	35.00
Arduino Shield Ethernet	1	14.08	14.08
Targeta memòria SD (16GB)	1	9.80	9.80
TOTAL:			117.67

Figura 5.1. Cost hardware

Concepte	Cost fix (€)	Temps de vida (anys)	Cost variable (€/hora)	Temps referit al projecte (hora)	Cost referit al projecte (€)
Personal: Enginyer industrial	-	-	6,56	240	1575
Hardware	117.67	-	-	-	117.67
Ordinador portàtil	720	8	0.0103	240	2.47
Llicència Microsoft Office	69	1	0.01	75	0.75
Internet i electricitat	100	-	-	-	100
TOTAL:					1795.89

Figura 5.2. Cost total

Conclusions i treball futur

S'han complert la gran majoria d'objectius previs fixats del projecte. La primera part, en referència al disseny del hardware s'ha aconseguit un circuit electrònic eficient i fàcil d'implementar sense haver de fer gaires modificacions respecte l'antic. S'han adaptat les senyals existents dels sensors a les interpretacions de la nostra placa i s'ha dissenyat el circuit per tal de que sigui segur a nivell elèctric.

En la segona part, en referència al software té un cicle de control amb una utilitat perfectament provada, després de varies opcions pensades i testejades s'ha optat per una de les més senzilles i eficients, també gràcies al tractament de les dades que provenen de l'interior de la cambra. S'ha implementat un protocol de tractament de comandes que permet una comunicació pel port Serial, molt útil pel programador que permet entendre i validar el codi que s'està tractant, pel port Ethernet, tant a partir d'una pàgina web com per comunicació Telnet (recomanada pel personal expert de l'Institut en Arduino per tal d'aprendre de forma més eficient), i per últim, les comandes poden ser rebudes i tractades quan provenen des de la targeta de memòria SD. En el cas de la comunicació entre la targeta de memòria SD i l'Arduino s'ha dissenyat que el programa cridi arxius de text, els llegeixi i agafi les parts que realment siguin comandes vàlides.

També tenim la part de gravat de les dades en cada instant programat en arxius que es guarden a la targeta de memòria. Igualment es guarden, en un arxiu de text, els canvis efectuats des de qualsevol comunicació de les esmentades i en quin instant s'han produït.

La comunicació pel port Ethernet que permet enviar pàgines webs està creada en el codi a partir d'un protocol d'intercanvi de comunicació entre servidor i client. Aquest protocol introdueix totes les bases necessàries, com pot ser una direcció IP on trobar el servidor, interpreta la informació que l'usuari vol enviar per tal d'entrar a una web o una altra, obre l'arxiu corresponent guardat a la targeta de memòria i envia el codi necessari per obrir la pàgina web que pot contenir text o imatges. A més, utilitzant la informació que podem demanar de la computadora de l'usuari actualitzem el temps intern de l'Arduino, lo qual ens serveix per tindre un millor registre de dades.

En referència al disseny de les pàgines web en codi HTML s'ha procurat crear una pàgina de *Login* que només permeti entrar a aquells que estiguin autoritzat i continguin un usuari i una contrasenya, una pàgina principal on es puguin visualitzar les consignes de la cambra, decidir

el seu estat o enviar comandes de canvi de paràmetres al programa a partir de formularis. També s'aprèn com funciona i s'utilitza el codi CSS per tal de que els dissenys de les pàgines siguin més correctes estèticament.

Tot i així, no s'han pogut complir tots els objectius fixats per diferents motius, principalment per dificultat. El disseny del sistema físic i el cicle de control està totalment finalitzat però a la pàgina web li falten algunes funcions: poder enviar els arxius des de l'Arduino al dispositiu de l'usuari i la visualització de gràfiques a temps real.

S'ha intentat implementar les dues funcions però no ha sigut possible, en els dos casos s'havia arribat a un punt mort el qual no s'ha pogut superar. També s'ha intentat utilitzar plantilles en el cas de les gràfiques i el servei FTP en el cas de l'intercanvi d'arxius.

En el primer cas de les gràfiques, evidentment, ens hem trobat que no era viable escriure el codi per la complexitat i el temps que requereix. Implementant les plantilles [8] des de l'ordinador aconseguíem utilitzar-les correctament però al guardar aquesta plantilla a la memòria SD dins un arxiu .htm, per algun motiu, no es reconeixia el codi i no es s'implementava cap gràfica.

I pel cas de l'intercanvi d'arxius guardats a la targeta de memòria SD de l'Arduino cap al dispositiu de l'usuari s'ha trobat amb molt poca informació. A la web d'Arduino sí s'ha trobat un exemple de servei FTP però gairebé sense explicacions de com implementar-lo al teu propi codi o placa perquè al no ser per el mateix model no funciona igual. Al no tenir prou coneixements com per entendre el codi i les llibreries complementaries s'ha buscat informació d'altres usuaris que hagin intentat utilitzar aquest servei FTP amb l'Arduino. Lo que s'ha pogut trobar és que els diferents usuaris, bastant pocs, han tingut el mateix problema i alguna solució que es proposava no el solucionava.

Per tant, per tal d'acabar el projecte amb totes les funcions caldria trobar una solució a aquests problemes, provar tot el software i la última part seria muntar el sistema i acoblar-lo a la cambra.

El treball autònom ha sigut completament satisfactori. He pogut aprendre dos llenguatges totalment desconeguts per mi com el llenguatge C++ en entorn Arduino, après gràcies al personal de l'INTE com el Juan Antonio Romero i gran part de forma autònoma a mesura que avançava el projecte. Considero que el llenguatge de C++ en entorn Arduino el domino com per tal de poder realitzar més projectes en el futur ja que, amb la base que he pogut adquirir i com he fet en aquest projecte, gairebé tot el que necessiti aprendre ho puc buscar i implementar-ho. En el cas del llenguatge HTML i CSS sí que he els he pogut conèixer però no amb tanta profunditat com el C++, tot lo après ha sigut a partir d'informació trobada a

Internet pel meu compte i a partir d'assaig error.

Els coneixements apresos i implementats no són sols en termes de llenguatge sinó també en les relacions de l'entorn Arduino amb altres entorns com poden ser la connexió pel port Serial, l'entorn Telnet pel port Ethernet, amb la targeta de memòria SD i les relacions amb pàgina web.

És veritat que el temps emprat en l'aprenentatge ha sigut considerable i que si ara hagués de realitzar un projecte semblant es tardaria una important quantitat de temps inferior. Això és un aspecte del que érem conscients tan jo com la tutora de l'INTE, des de l'institut també tenien com a objectiu que l'estudiant a càrrec del projecte aprengués i implementés aquests nous coneixements.

Molt d'aquest temps es resumia en el prova error que ja entrava dins els plans però també molt de temps s'ha invertit en errors del hardware que van dificultar molt l'avanç del treball. La primera placa utilitzada pel projecte es va arribar a descartar pels problemes que donava a l'hora d'implementar el codi de la pàgina web i també per motius de memòria. Es va invertir molt de temps ja que es va intentar, primer trobar i corregir possibles errors, i després adaptar el codi a la placa. Com que no va ser possible es va decidir comprar la placa actual amb la qual tot ha anat de forma correcta, la decisió tenia un cost econòmic i un període de temps en el que l'avanç del projecte quedava limitat al no tenir una placa on implementar i provar el codi. Tot i així la decisió de canvi considerem que va ser totalment encertada.

També valoro la possibilitat d'haver començat y desenvolupat un projecte en una empresa d'investigació que m'ha permès tenir una visió interna de com es treballa i les relacions que hi ha.

Agraïments

Al Juanant per la seva paciència i de preocupar-se de que sobretot aprenguéss.

A la Claudia per donar-me l'oportunitat i per la seva ajuda tan necessària.

Al Consejo de Seguridad Nacional i al Vicenç pel seu suport.

I agrair sincerament tot el recolzament obtingut per part de la família i companys en els moments que més ho necessitava.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] Traceability of radon-222 activity concentration in the radon chamber at the technical university of Catalonia (Spain)
[<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168900204003791>, Juny 2004]

- [2] Influence of environmental changes on continuous radon monitors. Results of a Spanish intercomparison exercise.
[<https://academic.oup.com/rpd/article-abstract/121/3/303/1604803>, Desembre 2006]

- [3] Atmospheric ²²²Rn concentration and source term at El Arenosillo 100 m meteorological tower in southwest Spain.
[<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350448711005531>, Febrer 2012]

- [4] El radón y sus efectos en la salud - Organizació mundial de la salut OMS
[<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-health>, Juny 2016]

- [5] Effectiveness Analysis of Filters Used with Radon Detectors under Extreme Environmental Conditions for Long-term Exposures.
[<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389215015849>, 2015]

- [6] Arduino WEB
[<https://www.arduino.cc/>]

- [7] Plantilla web Login – W3SCHOOLS
[https://www.w3schools.com/howto/tryit.asp?filename=tryhow_css_login_form_modal]

- [8] Web de plantilles de gràfiques – HIGHCHARTS
[<https://www.highcharts.com/>]

Bibliografia complementària

<https://inte.upc.edu/en/services/laboratories/radon>

<https://www.arduino.cc/reference/en/>

<https://forum.arduino.cc/>

<https://www.w3schools.com/>

<https://www.w3schools.com/html/>

https://www.w3schools.com/html/html_forms.asp

https://www.w3schools.com/tags/tag_button.asp

https://www.w3schools.com/html/html_css.asp

https://www.w3schools.com/html/html_colors.asp